Prof. Dr. Hans Molisch

Die Lichtentwickelung in den Pflanzen





Die

Lichtentwickelung

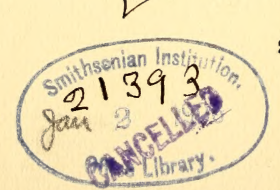
in den Pflanzen

von

Prof. Dr. Hans Molisch.



LEIPZIG.
Verlag von Johann Ambrosius Barth.
1905.



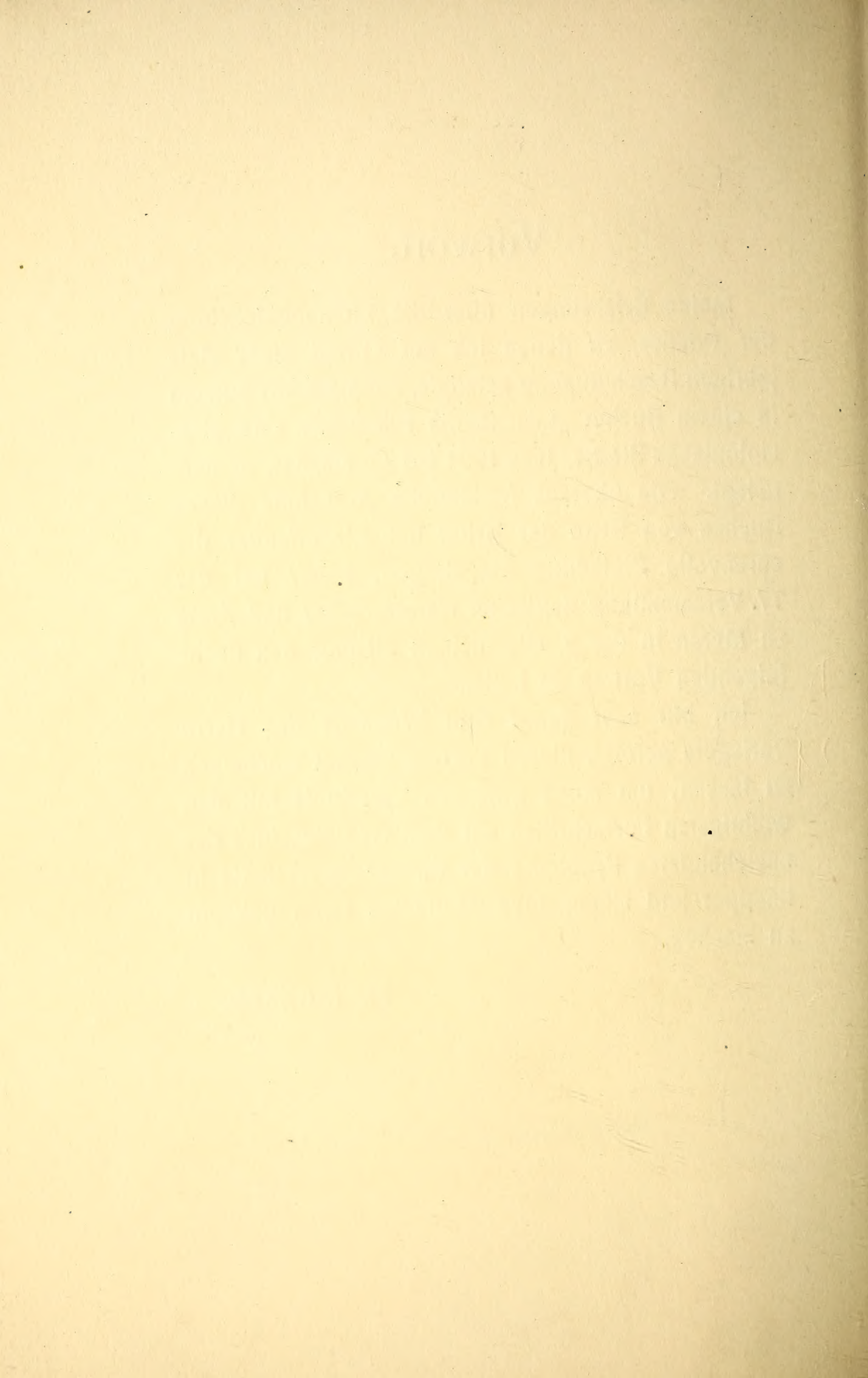
Spamersche Buchdruckerei in Leipzig

Vorwort.

Meine Erfahrungen über die Lichtentwickelung der Pflanze, zu denen ich auf Grund einer vieljährigen Beschäftigung gelangte, habe ich vor kurzem in einem Buche: „Leuchtende Pflanzen", eine physiologische Studie, Jena 1904 bei G. Fischer, niedergelegt. Die überaus freundliche Aufnahme dieses Buches von Seite der Kritik hat mir offenbar die ehrenvolle Einladung eingetragen, heuer bei der 77. Versammlung deutscher Naturforscher und Ärzte zu Meran in der 2. allgemeinen Sitzung den nachfolgenden Vortrag zu halten.

Ich bin sehr gerne dem Wunsche des Herrn Verlegers gefolgt, diesen Vortrag separat erscheinen zu lassen, um einen größeren Leserkreis mit den wichtigsten Fortschritten auf dem Gebiete eines der anziehendsten Probleme der Pflanzenphysiologie in knapper und allgemeinverständlicher Form bekannt zu machen.

H. Molisch.



Die Lichtentwickelung in den Pflanzen[1]

von

Hans Molisch.

Vor 62 Jahren hat bei der 21. Versammlung deutscher Naturforscher und Ärzte in Graz in einer Sitzung, der kein geringerer als der berühmte Chemiker J. v. Liebig präsidierte, ein österreichischer Forscher J. F. Heller über das Leuchten gefaulter Hölzer gesprochen und die Ansicht vertreten, daß die Lichtentwickelung nicht dem verwesenden Holze selbst, sondern einem das Holz durchwuchernden Pilze zukommt. Nicht lange nachher hat der genannte Forscher das Leuchten verwesender Tiere und Pflanzen einer eingehenden Untersuchung unterworfen und dabei gefunden, daß das Leuchten des Fleisches toter Seetiere und verschiedener faulender pflanzlicher Objekte nicht einen rein chemischen, sondern einen biologischen Prozeß darstellt, stets

---

[1]) Ausführliche Daten und Literaturangaben über dieses Thema findet man in meinem jüngst erschienenen Buche: Leuchtende Pflanzen, Jena 1904, bei G. Fischer.

hervorgerufen durch eine Pflanze und zwar durch einen Pilz. Nicht das Fleisch, der Fisch und das Holz leuchtet, sondern der darauf lebende und die Verwesung einleitende Pilz. Bekanntlich wird die Priorität dieser Entdeckung, da Hellers Untersuchungen ganz der Vergessenheit anheimfielen und erst vor kurzem von mir ans Licht gezogen wurden, dem ausgezeichneten Physiologen E. Pflüger zugeschrieben, jedoch mit Unrecht. Die Priorität gebührt zweifellos Heller.

Mit der Erkenntnis unseres Problems als eines *biologischen* war eine wichtige Grundlage für weitere Forschungen geschaffen. Als dann R. Koch der Wissenschaft seine bakteriologische Technik und die Methode der Reinkultur bescherte, ging man zunächst daran, die verschiedenen Leuchtbakterien und in neuester Zeit auch höhere Leuchtpilze rein zu kultivieren. Nun erst war man in der Lage, die verschiedenen Arten voneinander zu unterscheiden, die Bedingungen der Lichtentwickelung, die Natur des Lichtes bequem zu erforschen und dem Problem von der Lichtentwickelung mit größerem Erfolge näher zu treten. Sehen wir von den lichtentwickelnden Peridineen, die bald zu den Tieren bald zu den Pflanzen gestellt werden und die an dem prächtigen Schauspiel des Meeresleuchtens einen hervorragenden Anteil haben, ab und lassen wir das sogenannte Blitzen mancher Blüten, das die Tochter Linnés

zuerst beobachtete und das jedenfalls auf ganz anderen Ursachen, wahrscheinlich auf einem rein physikalischen, vielleicht den Erscheinungen des St. Elmsfeuers zugehörigen Vorgang beruht, bei Seite, *so gehören alle Licht gebenden Pflanzen zu den Pilzen und zwar zu den Bakterien und Fadenpilzen.* Es sei zur Vermeidung von Mißverständnissen gleich bemerkt: Wenn ich von Licht gebenden Pflanzen spreche, so denke ich stets an von der Pflanze selbst produziertes Licht, an eigenes und nicht an reflektiertes Licht, worauf bekanntlich das herrliche Irisieren mancher Seealgen, der wunderbare smaragdgrüne Glanz des Leuchtmoosvorkeimes von Schistostega osmundacea und der an flüssiges Gold erinnernde Reflex des Flagellaten Chromophyton Rosanofii zurückzuführen sind. Es sind bereits rund 30 verschiedene Bakterien und etwa halbsoviel andere Pilze bekannt, welche zu leuchten vermögen. Vergleicht man diese Zahl mit der Gesamtzahl der bestehenden Pflanzenarten überhaupt, so muß sie jedenfalls als eine sehr geringe bezeichnet werden.

Trotzdem sind wir, da einzelne von den leuchtenden Pilzen zu den gemeinsten Pflanzen gehören, in der Natur, ja im Haushalte von leuchtenden Objekten häufig umgeben, was ich an zwei Beispielen erläutern möchte.

Noch bis vor kurzem wurde *das Leuchten des Schlachtviehfleisches* als eine aufsehenerregende Sel-

tenheit, als ein Kuriosum betrachtet, dessen Zustandekommen unbekannten und selten zusammentreffenden Bedingungen zugeschrieben wurde. Als ich selbst daran ging, die Sache zu untersuchen, fehlte es mir an Material, und obwohl ich mit verschiedenen Personen und Anstalten, die noch am leichtesten in den Besitz von leuchtendem Fleisch gelangen konnten, in Verbindung trat, wurde mir innerhalb zweier Jahre auch nicht ein einziges Stück leuchtenden Fleisches zugesandt. Ich war bereits im Begriffe, meinen Plan aufzugeben, als ich auf den Gedanken kam, das Fleisch, welches mir für den Hausgebrauch geliefert wurde, zu prüfen und zu meiner Überraschung zeigte es sich, daß solches Fleisch auf 1—3 Tage in einen kühlen Raum gelegt, in vielen Fällen spontan zu leuchten beginnt. Im weiteren Verfolg dieser Tatsache fand ich, daß das Leuchten sich noch viel häufiger einstellt, wenn man das beim Metzger käufliche Fleisch in eine 3% Kochsalzlösung so einlegt, daß es etwa noch zur Hälfte aus der Flüssigkeit herausragt. Von den durch 3 Monate hindurch geprüften Fleischproben leuchteten nicht weniger als 87% und zwar

von den Rindfleischproben 89%,

von den Pferdefleischproben 65%.

Als Ursache des Leuchtens wurde durch Reinkultur stets ein und derselbe intensiv leuchtende Spaltpilz, das Bacterium phosphoreum (Cohn) Mo-

lisch erkannt. Da ich bereits durch mehrere Jahre nicht bloß in Prag, sondern auch in anderen Städten solche Versuche mit wesentlich gleichen Resultaten durchgeführt habe, *so kann man das spontane Leuchten des Fleisches in der Tat als eine ganz gewöhnliche Erscheinung hinstellen.*

Die Ursache dieser Lichtentwicklung, das Bacterium phosphoreum gehört demnach zu den gemeinsten in unserer Nähe verbreiteten Bakterien, es findet sich auf dem Fleisch der Eiskeller, der Schlachthäuser, der Markthallen, ja es findet sogar Zutritt in die Küchen, wo Fleisch regelmäßig zubereitet wird. Nur so erklärt sich die überraschende Tatsache, daß so viele Fleischproben spontan zu leuchten vermögen.

In den letzten Jahren bin ich noch auf eine andere Leuchterscheinung gekommen, die, obwohl zu den gewöhnlichsten gehörend, fast ganz unbekannt war. Ich meine *das Leuchten verwesender Blätter.* Bei meinen nächtlichen Spaziergängen in den Tropen, insbesondere auf Java, fand ich häufig abgestorbene Blätter von Bambusa, Nephelium, Aglaia und andere, die im Finstern leuchteten. Nach Europa wieder zurückgekehrt, habe ich, mit meinen in den Tropen gesammelten Erfahrungen ausgerüstet, die Erscheinung auch auf heimatlichem Boden verfolgt und gefunden, *daß leuchtende tote Eichen- und Buchenblätter in Mitteleuropa etwas*

ganz gewöhnliches sind. Die Blätter müssen in einem mäßig feuchten und in einem gewissen Zustande der Zersetzung sein. Namentlich solche Blätter, die infolge der Verwesung eine mehr gelbliche oder weißlich gelbe Farbe haben oder gelb und braun gefleckt erscheinen, leuchten besonders schön. Sie leuchten meist stellenweise, seltener längs ihrer ganzen Ausbreitung in einem weißen, matten und ruhigen Lichte. Auch hier ist die Leuchtursache nicht die zerfallende Blattsubstanz sondern der darin lebende Pilz.

Nach meinen Beobachtungen leuchtet zur Sommerszeit ein nicht geringer Bruchteil der abgefallenen Blätter im Eichen- und Buchenwalde und allenthalben wird der Waldboden von dem zwar schwachen aber im Finstern leicht kenntlichen Lichte solcher Blätter bestrahlt. Leider ist es mir bisher noch nicht gelungen, den Pilz, welcher das Leuchten des verwesenden Laubes hervorruft, zu eruieren. Hingegen habe ich mit Vorteil die Methode der Reinkultur auf die das Leuchten des Holzes veranlassenden Pilze angewandt und auf diese Weise in dem Hallimasch (Agaricus melleus) und in dem Myzelium x jene beiden Pilze erkannt, welche in den meisten Fällen bei uns das Leuchten des Holzes veranlassen. Gleichzeitig hat es sich hierbei ergeben, daß gewisse, allgemein als Leuchtpilze bezeichnete Kryptogamen wie Xylaria Hypo-

xylon aus der Reihe der Photomyzeten zu streichen sind, und hierzu dürfte sich auch bald Trametes pini gesellen.

In dem Bacterium phosphoreum (Cohn) Molisch und in dem Myzelium x, das einstweilen so benannt sein mag, da es bisher trotz mehrjähriger Kultur noch nicht fruktifizieren wollte, waren wegen der relativ großen Lichtintensität und der auffallend langen Dauer des Leuchtens zwei außerordentlich günstige Experimentalobjekte gewonnen, um die Lichtentwicklung nach gewissen Seiten hin genauer zu studieren.

Das Leuchten und die Entwicklung der Leuchtbakterien stehen u. a. in Abhängigkeit von gewissen Salzen und organischen Körpern. Bei den meisten spielt, weil wir es doch in der Regel mit marinen Bakterien zu tun haben, das Chlornatrium eine wichtige Rolle, weshalb man den Nährmedien gewöhnlich 3% Chlornatrium hinzufügt, doch wirkt hier das Kochsalz nicht so sehr als Nährsubstanz, sondern es spielt als osmotischer Faktor eine Rolle, indem es das Nährsubstrat mit dem Zellinhalte der Bakterien mehr minder isosmotisch macht. Es läßt sich aus diesem Grunde durch andere Salze, durch ClK, $MgCl_2$, $CaCl_2$, K_2NO_3, JK und K_2SO_4 ersetzen, ja ich habe sogar bei gewissen Bakterien den Eindruck gewonnen, daß Kalisalpeter ein stärkeres Leuchten bedingt als die Chloride ClNa und ClK.

Eingehende und wertvolle Untersuchungen über die Beziehungen zwischen Nährmittel, Lumineszenz und Wachstum verdanken wir Beijerinck. Das Prinzip seiner Untersuchungen bestand im wesentlichen darin, daß Photobakterien mit einer Gelatine, in der ein Nährstoff im Überschuß vorhanden ist, auf Platten gegossen wurden. Ausgebreitet in dünner Schicht, beginnt das Bakterienfeld alsbald zu leuchten. Sowie aber der überschüssige Nährstoff aufgebraucht ist, hört das Leuchten auf. Bringt man nun auf die Gelatine jene Substanzen, deren Einfluß auf das Leuchten und Wachstum geprüft werden soll, so lösen sie sich und diffundieren in einem Kreisfeld nach allen Richtungen. Ist die zugefügte Substanz ein Lichtnährmittel, so sieht man manchmal schon nach wenigen Sekunden das Diffusionsfeld aufleuchten. In der angegebenen Weise hergerichtete Bakterienfelder reagieren mit erstaunlicher Feinheit. Gewisse Substanzen, allen voran Levulose und Glykose, machen das Feld schon nach wenigen Sekunden aufleuchten. Die Photobakterien reagieren hier auf so minimale Quantitäten von Stoffen, daß Beijerinck in diesen Reaktionen ein Analogon der Bunsenschen Flammenreaktion erblickt, ja in gewissem Sinne ist die Bakterienreaktion noch vorteilhafter, weil sie länger dauert.

Bezüglich der Kohlenstoff- und Stickstoffnahrung verhalten sich die Leuchtbakterien verschieden. Die

einen, von Beijerinck Peptonbakterien genannt, finden für Wachstum und Lichtentwicklung ihr Auslangen mit Pepton oder einem eiweißartigen Körper, die anderen, von ihm als Peptonkohlenstoffbakterien bezeichnet, erfordern die gleichzeitige Anwesenheit eines peptonartigen Körpers, der den notwendigen Sauerstoff zu liefern hat, und noch eine kohlenstoffhaltige Verbindung, die nicht stickstoffrei zu sein braucht.

Ist das Nährmittel dazu geeignet, Wachstum und Bakterienvermehrung zu unterhalten, so ruft es nicht bloß ein Lichtfeld, sondern auch ein Wachstumsfeld, ein „Auxanogramm“ hervor, charakterisiert durch unzählige Bakterienkolonien, die sich im Diffusionsfeld viel stärker entwickeln als außerhalb desselben. Beijerinck nennt einen solchen Nährstoff einen „plastischen“. Ein Lichtstoff ist stets ein plastischer, aber nicht umgekehrt. Daraus folgt die wichtige Tatsache, daß die Lichtentwickelung bei den Leuchtbakterien weder an das Wachstum, noch an die Atmung notwendig gebunden ist.

In geistreicher Weise verwendete Beijerinck auch *die Leuchtbakterien zum Nachweis minimaler Mengen von Enzymen,* wie aus folgendem Beispiele erhellt. Er benutzte hierzu den Umstand, daß Photobacterium phosphorescens mit Maltose Licht gibt, das Photobacterium Pflügeri aber nicht. Er nimmt ein gut aufgekochtes Gemisch von Meerwasser mit

8% Gelatine, 1% Pepton und ¼% Kartoffelstärke. Zu einer Portion davon fügt er einen Überschuß von Photobacterium phosphorescens, zu einer anderen einen solchen von Photobacterium Pflügeri und erhält nach dem Erstarren gleichmäßig leuchtende Gelatineplatten, in welchen die Stärke, da diese Bakterien keine diastatischen Enzyme ausscheiden, unverändert bleibt. Bringt man nun auf die Platten Diastasepräparate (Maltose, Pankreasdiastase, Ptyalin), so diffundieren sie nach allen Seiten, verzuckern die Stärke und es erscheinen alsbald auf dem Photobacterium phosphorescens-Grunde stark leuchtende Flecken, denen später entsprechende Wuchsfelder folgen, während auf dem Pflügerigrunde nichts davon zu bemerken ist. Auf diese Weise zeigt also das Photobacterium phosphorescens durch vermehrte Lichtproduktion die Gegenwart der Maltose bzw. der Diastase an.

Für das Verständnis des Wesens der Lichtentwickelung bei den Pflanzen ist vor allem hervorzuheben, *daß zum Leuchten freier Sauerstoff unumgänglich notwendig ist.* Das Leuchten beruht auf einer Oxydation. Die feinsten Versuche über die Abhängigkeit des Leuchtens vom Sauerstoff verdanken wir der glänzenden Experimentierkunst Beijerincks. Nach seinen Untersuchungen stellen die Leuchtbakterien das empfindlichste Sauerstoffreagens dar, das wir derzeit besitzen. Die außer-

ordentlich geringen Mengen von Sauerstoff, die kohlensäureassimilierende einzellige Algen im Lichte entbinden, genügen, um die Bakterien momentan zum Aufleuchten zu bringen. Bringt man grüne Zellen in eine mit leuchtender Bouillon gefüllte Röhre, so erlischt das Bakterienlicht, da die Bakterien den in der Flüssigkeit gelösten Sauerstoff in kurzer Zeit veratmen, alsbald. Läßt man sodann in der Dunkelkammer durch einige Sekunden das Licht eines einzigen Zündhölzchens einwirken, so leuchtet hierauf die ganze Eprouvette auf, die grünen Zellen entbinden Sauerstoff, und diese fabelhaft geringen Mengen freiwerdenden Sauerstoffes genügen, um die Bakterien sofort aufleuchten zu machen. Es ist dies ein wunderbares Beispiel dafür, daß die physiologische Methode nicht bloß mit den besten physikalischen und chemischen Methoden in der Empfindlichkeit mit Erfolg wetteifern, sondern sie geradezu übertreffen kann, und daß das Lebewesen selbst als methodischer Faktor der Wissenschaft unschätzbare Dienste leisten kann.

Einem größeren Publikum läßt sich die Bedeutung des Sauerstoffes für die Lichtentwickelung in folgender Weise demonstrieren. Eine 1—1½ m lange und etwa 8 mm breite, an einem Ende zugeschmolzene Glasröhre wird mit stark leuchtender Bouillon (gemischt mit Bacterium phosphoreum oder Pseudomonas lucifera) nahezu ganz gefüllt, so

daß an der oberen Öffnung nur $^1/_2$—1 cm langes Stück mit Luft versehen übrig bleibt. Läßt man eine so vorbereitete Röhre eine Viertelstunde stehen, so erlischt, da die Bakterien den Sauerstoff veratmen, die Bouillon mit Ausnahme des Meniskus, wo der Sauerstoff die Bakterien unmittelbar erreicht. Verschließt man jetzt die Röhre mit dem Daumen und kehrt sie um, so steigt die Luft in Form einer Blase auf und macht die ganze Bouillon wieder leuchtend, *man glaubt im Finstern eine langsam aufsteigende Leuchtrakete zu sehen.* Stellt man die Röhre dann wieder ruhig hin, so erlischt binnen einer Viertelstunde oder noch früher die Bouillon und der Versuch kann dann von neuem wiederholt und die Bouillon neuerdings leuchtend gemacht werden.

Von den Botanikern wird fast allgemein angenommen, daß zwischen der Lichtentwickelung der Pilze und der Atmung eine *direkte* Beziehung bestehe. So sprach z. B. Sachs von Phosphoreszenz als notwendiger Folge der Atmung und von Phosphoreszenz *durch Atmung.* Aber schon F. Ludwig und andere haben gezeigt, daß Leuchtbakterien auch ohne Lichtentwickelung zu züchten sind und dennoch wachsen und atmen, auch kann man sich leicht überzeugen, daß bei steigender Temperatur sich die Atmungsintensität zwar fortwährend steigert, die Leuchtintensität aber nur bis zu einem ge-

wissen Grade. Zwischen Lichtentwickelung und Sauerstoff bestehen analoge Beziehungen wie zwischen Farbstoffbildung und Sauerstoff. Die meisten chromogenen Bakterien bilden ihren Farbstoff nur bei Zutritt von Sauerstoff, wie man im Stichkanal sehen kann. Nur da, wo freier Sauerstoff Zutritt findet, bildet sich Farbstoff, tiefer unten im sauerstoffarmen Raume wachsen die Bakterien farblos. Farbstoffbildung und Lichtentwickelung sind Oxydationserscheinungen, allein während die Farbstoffbildung bisher nicht in direkten Zusammenhang mit der Atmung gebracht wurde, war dies beim Leuchten der Pflanze bis auf den heutigen Tag der Fall. Bevor aber nicht der Nachweis geliefert wird, daß mit der Lichtentwickelung auch eine Steigerung der Kohlensäureproduktion verknüpft ist, darf man *vorläufig* nicht die Lichtentwickelung mit dem Atmungsprozeß identifizieren, wenn auch indirekte Beziehungen zwischen Leuchten und Atmung höchstwahrscheinlich bestehen dürften.

Mit der Aufklärung des Wesens der Lichtentwickelung haben sich in neuerer Zeit viele Forscher (E. Pflüger, Radziszewski, Dubois, F. Ludwig, Katz, Tollhausen, Lehmann, Beijerinck, Mc Kenney und Nadson) vorübergehend oder eingehend beschäftigt, doch gehen die Ansichten darüber noch sehr auseinander. Je weiter unsere Kenntnisse darüber fortschreiten, desto mehr gewinnt die Anschauung

an Wahrscheinlichkeit, *daß innerhalb der Zelle ein hypothetischer Stoff, das Photogen, entsteht, welches bei Gegenwart von freiem Sauerstoff zu leuchten vermag.* Eine wesentliche Stütze erhielt diese Ansicht, als Radziszewski den Beweis lieferte, daß eine große Reihe organischer Körper, z. B. aldehydartartige Substanzen, ätherische Öle, Kohlenwasserstoffe, fette Öle und gewisse Alkohole, wenn sie sich in alkalischer Reaktion mit aktivem Sauerstoff verbinden, zu leuchten imstande sind. Weil nun das Licht solcher Körper eine äußere und eine spektrale Ähnlichkeit mit dem von Lebewesen aufweist, und da gewisse von Radziszewskis Substanzen, die unter angegebenen Bedingungen leuchten, auch in lebenden Zellen vorkommen — ich erinnere nur an Lecithin, Fette, Cholesterin, ätherische Öle und Traubenzucker —, so gelangt der genannte Forscher zu der Überzeugung, daß auch in den Lebewesen die Lichtentwicklung auf eine Oxydation derartiger Körper zurückzuführen sei. Radziszewski betrachtet daher das Problem als gelöst. Nun soweit sind wir allerdings noch nicht. Zwar wäre mit einem Schlage entschieden, ob Radziszewski Recht hat, wenn es gelänge, aus der leuchtenden Zelle einen photogenen Stoff zu gewinnen, der auch außerhalb der Zelle fortleuchtet. Allein dieses Experiment ist bis heute noch nicht geglückt. Auch kommt nach Pfeffer in der lebenden Pflanzen-

zelle kein aktiv leuchtender Sauerstoff vor, es trifft also eine der Voraussetzungen, von denen Radziszewski ausgehen muß, nicht zu, denn seine Leuchtkörper geben nur Licht, wenn aktiver Sauerstoff zugegen ist.

Trotzdem halte ich die Photogentheorie noch immer für die am meisten berechtigte, wenn wir auch derzeit über die Natur des Photogens nichts wissen. Es könnte ja auch ein Körper sein, der gar nicht zu den vorhin genannten Leuchtsubstanzen gehört, vielleicht ist es eine Substanz, die auch ohne aktiven Sauerstoff zu leuchten vermag.

Es gibt einige Tatsachen, die meiner Meinung nach zu der Annahme eines Photogens geradezu herausfordern. So werden bei gewissen Tieren nichtzelluläre leuchtende Sekrete ausgeschieden, gewisse Zellen und ihre Bestandteile vermögen auch in totem Zustande zu leuchten. Man denke an Pholas, an gewisse Insekten, Myriopoden und manche Würmer. Von großer Bedeutung und noch viel zu wenig gewürdigt ist die Tatsache, *daß manche Gewebe und Zellen sogar in leblosem Zustande zu leuchten vermögen.* So werden Schriftzüge, wenn sie mit der Leuchtsubstanz von Luciola italica hervorgebracht werden, durch Anfeuchten wieder von neuem leuchtend. Die Leuchtorgane von Lampyris noctiluca, auf das sorgfältigste getrocknet und im Vakuum aufbewahrt, leuchten nicht.

Nimmt man sie aber heraus und befeuchtet man sie mit einem Tropfen destillierten Wassers, so kommt nach Bongardt selbst nach einem Jahre das Licht wieder zum Vorschein. Das Sekret gewisser Myriopoden kann, wenn man Filtrierpapier damit imprägniert, noch nach zwei Monaten durch Befeuchten zum Leuchten angeregt werden. In den angeführten Fällen kann man wohl nicht mehr von lebenden Zellen oder lebenden Zellbestandteilen reden, denn niemand wird einen Leuchtkörper eines Insektes, der ein Jahr im Vakuum eingetrocknet verweilte, noch als lebend ansprechen wollen. Hier handelt es sich nicht mehr um einen vitalen, sondern um einen rein chemischen Prozeß, hier handelt es sich um eine Substanz, die bei Gegenwart von Wasser und freiem Sauerstoff leuchtet.

Bei der leuchtenden Pflanze gibt es nun allerdings keine leuchtenden Exkrete, wie man irrtümlich angenommen hat, denn das Leuchten findet nur innerhalb der Zelle statt. Auch hat man es bisher nur an der lebenden Pflanzenzelle gesehen und insofern kann man das Licht der Pflanze als ein wahres Lebenslicht bezeichnen. Aber sowie man noch vor nicht langer Zeit auch die alkoholische Gärung für unzertrennlich verknüpft hielt mit der lebenden Hefezelle, und wir heute, dank einer der glänzendsten Entdeckungen auf biochemischem Gebiete durch Buchner wissen, daß

es doch nur eine bestimmte Substanz, das Ferment Zymase ist, die auch abgetrennt für sich allein, obwohl leblos, geistige Gärung hervorzurufen vermag, so wäre auch für das Photogen etwas Analoges denkbar. Wenn trotzdem die Isolierung einer solchen Leuchtsubstanz bisher nicht gelungen ist, so liegt dies höchstwahrscheinlich darin, daß der Leuchtkörper nur immer in sehr geringer Menge gebildet wird, von außerordentlicher Labilität ist und beim Absterben der Zelle gleichfalls verändert wird. Welcher Art das Photogen ist und ob das Leuchten einen fermentativen Prozeß darstellt, läßt sich heute nicht beantworten. Hier wird die künftige Forschung den Hebel anzusetzen haben. Das Photogen direkt oder indirekt zu erweisen, womöglich es aus der Zelle zu isolieren und es außerhalb dieser zum Leuchten zu bringen, erscheint mir ein verlockendes und mit Rücksicht auf andere biochemische Tatsachen nicht ganz aussichtsloses Streben.

Wer je Schwärme von Leuchtkäfern gleich beseelten Sternen durch die finstere Nacht fliegen sah und wer intensiv leuchtende Reinkulturen von Bakterien und höheren Pilzen mit ausgeruhtem Auge betrachtete, wird unwillkürlich von der Eigenartigkeit dieses „lebenden“ Lichtes gefesselt gewesen sein. Es ist daher nur begreiflich, daß man zu einer Zeit, wo uns die Physik mit neuen un-

geahnten Strahlungen überraschte, die uns im ersten Augenblick wie Wunder erschienen, mit verdoppelter Aufmerksamkeit sich *der Natur dieser aus dem Lebendigen kommenden Strahlung* zuwandte und ihre physikalischen, chemischen und physiologischen Wirkungen zu erforschen suchte.

Zunächst möchte ich auf einen bemerkenswerten Unterschied aufmerksam machen, zwischen *der Art des Leuchtens* beim Tiere und der Pflanze. Sehen wir von den Peridineen ab und halten wir uns nur an die Pflanzen, so leuchtet die Pflanze stets andauernd, die Bakterien und höheren Pilze leuchten tage-, wochen-, monate-, ja unter gewissen Verhältnissen, namentlich bei großem Nahrungsvorrat, sogar jahrelang ohne Unterbrechung Tag und Nacht, während die Tiere mit wenigen Ausnahmen nur relativ kurze Zeit, gewöhnlich nur einige Sekunden oder Minuten und zumeist nur auf äußere Reize leuchten, so daß das Licht hier einen blitz- oder funkenartigen Eindruck macht. — — — Das Licht der Pilze ist von weißlicher, grünlicher oder blaugrüner Farbe, es ist, entgegen früheren Angaben, niemals wallend, wie das Licht des Phosphors, niemals unruhig oder funkelnd, sondern stets ruhig und gleichmäßig, gleichgültig, ob man es mit freiem Auge oder unter dem Mikroskope betrachtet. Seine Intensität erscheint in der Regel gering, aber es gibt Bakterien, die so intensiv leuchten, daß man

ihr Licht auch mit nicht ausgeruhtem Auge am hellen Tage in der schattigen Ecke eines Zimmers sieht. Ein ausgezeichnetes Objekt in dieser Richtung ist das Bacterium phosphoreum (Cohn) Molisch, die Leuchtbakterie des Schlachtviehfleisches und in noch höherem Maße Pseudomonas lucifera Molisch, eine Photobakterie, die ich vor zwei Jahren auf Seefischen entdeckte und die an Lichtintensität alle bisher bekannt gewordenen Leuchtbakterien überstrahlt.

R. Dubois gebührt das Verdienst, zuerst den Versuch gemacht zu haben, das Bakterienlicht in Form einer Lampe zu verwerten, und ich habe im Besitze der zwei genannten so überaus intensiv leuchtenden Bakterien Dubois' Versuche wieder aufgenommen und in folgender Weise eine Bakterienlampe konstruiert:

Ein 1—2 L Erlenmeyerkolben aus Glas wird mit 200—400 ccm Salzpeptongelatine beschickt, mit einem Baumwollpfropf verschlossen und dann sterilisiert. Nach Abkühlung, und bevor die Gelatine wieder erstarrt, wird von einer jungen und gut leuchtenden Kultur des Bacterium phosphoreum oder der Pseudomonas lucifera mittels einer Platinnadel geimpft und der Kolben in fast horizontaler Lage und unter langsamer Drehung im Strahle eines Wasserleitungshahnes gekühlt, wobei die Gelatine an der ganzen inneren Oberfläche nach wenigen Minuten erstarrt. Der ganze Kolben ist

dann mit einer mehr oder minder dicken Gelatineschicht allseits ausgekleidet. Bei Aufenthalt des Kolbens in einem kühlen Zimmer entwickeln sich schon nach 1—2 Tagen an der ganzen Innenwand so reichlich Kolonien, daß der Kolben dann in wunderschönem bläulich-grünen Lichte erglänzt und mit seinem ruhigen matten Glanze einen herrlichen Anblick darbietet.

Ich habe vor kurzem gefunden, daß die Leuchtkraft einer solchen Lampe sich erheblich steigern läßt, wenn man die Impfung an der Gelatine in Form einer größeren Anzahl, etwa 1 cm voneinander entfernter, vom Grunde des Kolbens bis zu seinem Halse reichender Striche durchführt und der Gelatine 1—2% Pepton und etwa ½% Glyzerin hinzufügt. Eine derartige Lampe bewahrt ihre Leuchtkraft in einem kühlen ungeheizten Zimmer etwa 14 Tage, sie gestattet mit *dunkel adaptiertem Auge* die Taschenuhr, die Skala des Thermometers abzulesen und groben Druck zu entziffern. Ein solcher Kolben kann in finsterer Nacht noch auf 64 Schritte gesehen und zur Not als Nachtlampe benutzt werden. Wenn ein toter leuchtender Flunder wegen seines Lichtes von den Fischern als Köder mit Erfolg benutzt wird, so dürfte auch eine solche Lampe beim Fischfang als Lockmittel gute Dienste leisten.

Es wird vielleicht, und meine Versuche ermuntern mich dies zu behaupten, in Zukunft ge-

lingen, durch bestimmte Zusammensetzung des Nährsubstrates und durch künstliche Zuchtwahl, diese ungemein ökonomische, von Wärmestrahlen fast freie Lichtquelle in ihrer Intensität so zu steigern, daß man derartige lebende Lampen wegen ihrer Billigkeit, ihrer langen, ununterbrochenen Leuchtdauer, ihrer Gefahrlosigkeit, ihres kalten Lichtes, insbesondere in Pulvermagazinen, in nicht zu warmen Bergwerken und an anderen Orten auch wird praktisch verwenden können.

Anknüpfend an die Untersuchungen von F. Ludwig und Forster ließ sich an der Hand meiner stark leuchtenden Bakterien und Hyphomyzeten zeigen, daß die Spektra des Lichtes kontinuierlich ohne dunkle Linien und in der Regel Helligkeitsspektra sind, also wegen ihrer geringen Lichtintensität keine Farben erkennen lassen; daß das Spektrum der genannten Bakterien nach dem violetten Ende eine größere Ausdehnung aufweist als das von höheren Pilzen, und daß im Pilzlichte — und dies gilt auch vom Käferlichte — neben den mehr zurücktretenden gelben und blauen Strahlen die grünen dominieren. In dem intensiven Lichte der früher genannten Pseudomonas lucifera Molisch *konnte ich sogar mittels des Spektroskopes Farben unterscheiden: grün, blau und violett. Es ist dies der erste konstatierte Fall, daß im Spektrum des Lichtes einer Pflanze auch Farben gesehen wurden.*

Die spektrale Zusammensetzung des Pilzlichtes ließ schon vermuten, daß es auf die photographische Platte zu wirken vermag, und in der Tat haben die Versuche verschiedener Forscher, wie v. Haren Noman, Forster, Barnard und insbesondere R. Dubois gelehrt, daß man im Bakterienlichte photographieren kann. Verwendet man intensiv leuchtende Bakterien, wie sie mir zur Verfügung standen, so lassen sich Bakterienkolonien schon nach einer Expositionszeit von fünf Minuten deutlich in ihrem eigenen Lichte photographieren und unter Verwendung von Bakterienlampen lassen sich auch von verschiedenen Objekten, Büsten, Thermometern und Buchdruck gute Bilder anfertigen. Im letzteren Falle muß die Expositionszeit behufs Erzielung scharfer Bilder mehrere Stunden betragen. Hingegen genügt, falls überhaupt nur eine Einwirkung auf die Platte dargetan werden soll, bei direkter Auflagerung einer leuchtenden Strichkultur *schon die Zeit einer Sekunde.* Alle Bilder, die bisher angefertigt wurden, entstanden durch das Licht von Kolonien oder Massenkulturen. Allein es erscheint mir nicht aussichtslos, daß mit Rücksicht auf die sozusagen unendliche Empfindlichkeit der photographischen Platte es vielleicht in Zukunft gelingen wird, eine *einzelne* Bakterienzelle in ihrem eigenen Lichte zu photographieren, ähnlich wie es gelungen ist, die selbst für unser bewaffnetes Auge unsicht-

baren Sterne des Himmels auf der photographischen Platte in Erscheinung zu bringen.

Die Entdeckung der Röntgen-, Becquerelstrahlen und der Strahlungen radioaktiver Elemente zeitigte auch den Gedanken, daß auch im Bakterienlichte Strahlen besonderer Art vorhanden sein dürften. Allein die von R. Dubois aufgestellte Behauptung, derzufolge das Bakterienlicht undurchsichtige Körper, wie Holz und Karton durchdringe, beruht auf Täuschung, hervorgerufen durch die direkte Einwirkung des Holzes oder der Papiermasse auf die Silbersalze. In derselben Weise konnte ich auch die merkwürdigen und den Physikern völlig rätselhaften Angaben des japanischen Forschers Muraoka über das Johanniskäferlicht aufklären. Das Pilzlicht wirkt — und dasselbe gilt auch vom Johanniskäferlicht — auf die Silbersalze wie gewöhnliches Tageslicht und vermag undurchsichtige Körper nicht zu durchdringen.

Es erscheint nicht ohne Interesse, daß das Bakterienlicht auch physiologische Wirkungen auf Pflanzen ausübt. Die heliotropische Empfindlichkeit ist bekanntlich bei etiolierten Keimlingen gewisser Pflanzen nach Wiesner eine erstaunlich große, die Pflanze unterscheidet besser zwischen minimalen Helligkeitsunterschieden als unser Auge, sie darf daher mit Recht als ein ausgezeichnetes physiologisches Photometer betrachtet werden. Diese

außerordentliche Lichtempfindlichkeit regte mich an, die heliotropische Kraft des Bakterienlichtes experimentell zu prüfen. In der Tat kann das Bakterienlicht bei verschiedenen Keimlingen (Linse, Erbse, Wicke) und Pilzen (Phycomyces und Xylaria Hypoxylon) positiven Heliotropismus hervorrufen. Es bietet einen wunderbaren Anblick dar, wenn eine Pflanze eine andere in ihren Bewegungen beeinflußt und die Bakterie durch Produktion strahlender Energie in Form von Licht einen Pflanzenstengel zwingt, fast geradlinig auf die Lichtquelle loszuwachsen. Hingegen erwies sich das Bakterienlicht nicht als fähig, auch Chlorophyllbildung hervorzurufen, wahrscheinlich weil das Licht für diesen Prozeß zu wenig intensiv ist.

Wir gelangen nun zur Frage, ob eine so auffallende Erscheinung, wie sie die Entwickelung von Licht in der Pflanze darstellt, für diese auch irgend einen erkennbaren Nutzen hat. Daß das Licht der Tiere für diese bedeutungsvoll sein kann, darüber scheinen die Zoologen einig zu sein, denn wenn man sich die blitz- und explosionsartige Erzeugung von Licht, das plötzliche Ausstoßen eines leuchtenden Sekrets und die wunderbaren Einrichtungen der Leuchtapparate der in tiefster Finsternis lebenden Tiefseetiere vor Augen hält, so wird es zweifellos, daß derartige Einrichtungen im Dienste des Organismus stehen und daß vielen Tieren aus ihrer

Lichtentwickelung ein bestimmter Nutzen erwächst, sei es, daß die Tiere sich durch Licht gegenseitig anlocken oder erschrecken, sei es, daß sie ihre Umgebung beleuchten, um ihre Beute sicherer und leichter zu erhaschen.

Viel schwieriger ist die Frage mit Bezug auf die Pflanze zu beantworten. Es ist die Idee ausgesprochen worden, daß in der Leuchtfähigkeit der Bakterien ein Mittel zu ihrer Verbreitung gegeben sei. Das Licht der auf verwesenden Seetieren vorkommenden Bakterien sollte am Meeresstrand verschiedene Tiere zum Fraße anlocken und diese sollten durch Verschleppung der Bakterien zu ihrer Verbreitung beitragen. In Übereinstimmung mit Beijerinck halte ich, da die Meeresströmungen, die Wogen und der Sand des Strandes die Ausbreitung der Bakterien in ausgezeichneter Weise besorgen, die vorgetragene Ansicht für unhaltbar.

In einigem Zweifel könnte man darüber schon bei leuchtenden Hutpilzen sein, und in der Tat ist von einem hervorragenden Biologen, von Kerner die Meinung ausgesprochen worden, daß das Licht der Hutpilze den Pilzmücken und Pilzkäfern, welche ihre Eier in die Myzelien und Sporenträger der Hymenomyzeten legen, den Weg zeigt und daß die genannten Tiere bei diesem Geschäfte dem Pilze durch Vertragen der Sporen einen Dienst leisten. Auf den ersten Blick scheint die vorgetragene An-

sicht viel Bestechendes für sich zu haben, aber bei näherer Betrachtung kommt man doch über gewisse Widersprüche nicht hinaus. So bleibt es unverständlich, warum beim Hallimasch (Agaricus melleus) der Fruchtkörper, der doch die Sporen trägt und den Insekten leicht zugänglich ist, nicht leuchtet, während das Myzel, das unter der Rinde und im Holze wuchert, Licht entwickelt. Das im leuchtenden Holze wuchernde Leuchtmyzel trägt aber gewöhnlich gar keine Fruktifikationsorgane. Wenn nun das Licht des Myzeliums hier den Sinn hätte, Insekten oder ihre Maden anzulocken, so würde sich in diesem Falle der Pilz selbst nur schädigen, denn er würde die Tiere anlocken und durch sie nicht verbreitet sondern gefressen und hierdurch vernichtet werden, das Licht würde sein Verderben sein. Hätte das Licht der Pflanze den Sinn, die Tiere während der Nacht anzulocken, so wäre es auch nicht gut begreiflich, warum die Pflanze dann nicht bloß während der Nacht sondern ununterbrochen Tag und Nacht leuchtet, also auch zu einer Zeit, wo das Licht den Tieren ohnedies unsichtbar bleibt. Bei der Pflanze liegen also die Dinge doch wesentlich anders als bei den leuchtenden Tieren, und unter solchen Umständen scheint es mir besser zu sein, sich von gewagten Spekulationen fernzuhalten und einfach ruhig einzugestehen, daß wir *derzeit* keine plausible teleo-

logische Erscheinung über die Pilzlumineszenz zu geben vermögen, vielleicht und wahrscheinlich deshalb, weil diese nichts anderes als eine notwendige Konsequenz des Stoffwechsels leuchtender Pilze darstellt.

Überblicken wir zum Schlusse unser Problem noch vom energetischen Standpunkte, so zeigt sich, daß neben den verschiedenen Energiearten, der Wärme, der elektrischen und chemischen Energie in der Pflanze auch strahlende Energie in der Form von Licht auftreten kann. Ein wunderbares Faktum! Die grüne Zelle fängt mit ihren mikroskopisch kleinen Reduktionslaboratorien, den Chlorophyllkörnern die von der Sonne kommende strahlende Energie auf und verwandelt die lebendige Kraft des Lichtstrahles in chemische Energie. Aus der Kohlensäure der atmosphärischen Luft entsteht hierbei unter Entbindung von Sauerstoff organische Substanz, ein Speicher von Spannkraft. Die organischen Körper treten als Nahrung in das leuchtende Tier und in die leuchtende Pflanze ein und liefern hier im Stoffwechsel wieder Wärme und Licht.

Also ein wahrer Kreislauf von Licht zu Licht in der Pflanze! In der Tat, das Licht der Lebewesen leitet sich von der strahlenden Energie der Sonne her. Mag das Licht dem Johanniswürmchen entströmen, das, im Grase sitzend, mit seiner

Laterne dem brünstigen Männchen den Weg zeigt; mag die Noctiluca oder die Peridinee vom Schiffskiel gereizt oder von der Woge gepeitscht, plötzlich aufleuchten; mag der Tiefseekrebs am Grunde des Meeres die Finsternis mit seinen Leuchtorganen erhellen oder mag die Leuchtbakterie auf verwesendem Fleische oder ein leuchtender Hutpilz im Urwalde seine nächste Umgebung mit magischem Dämmerlichte erfüllen, — das Licht der Organismen ist im Grunde genommen nichts als strahlende Energie der Sonne, es ist von der Pflanze aufgefangenes und verwandeltes Licht, es ist von der Pflanze wiedergeborenes Sonnenlicht.

